

An Hr.
DI Dr. Othmar Mäser

Rappenholzweg 11
6811 Göfis

per E-Mail: othmar.maeser@gmx.at

Schiedermayrstraße 11, A4
4560 Kirchdorf a.d. Krems

Mobil. +43.664.1388823

Tel. +43.7582.51260

Fax. +43.7582.51260.15

office@johannwimmer.at

www.johannwimmer.at

Kirchdorf, 31. Juli 2024

Gz. 2024-188-001/REV-B

Ganahl AG, Frastanz, Reststoffkraftwerk, Genehmigungsverfahren nach dem AWG 2002 – luftreinhaltetechnische Untersuchung

Sehr geehrter Herr Dr. Mäser!

Ich beziehe mich auf Ihr Schreiben (E-Mail) vom 12.6.2024 sowie den in der Folge erteilten Auftrag (E-Mail vom 16.6.2024) und erstatte zu den in Ihrer Anfrage aufgeworfenen Fragen nachfolgende

Stellungnahme aus umwelttechnischer Sicht.

1. Aufgabenstellung

Die die Ganahl AG plant die Errichtung einer Verbrennungsanlage, in der nach der Betriebsbeschreibung als Brennstoffe 34.650 t/a nicht gefährliche Abfälle (Rejekte aus der Papierherstellung und Ersatzbrennstoffe) und ca. 50.000 t/a Biomasse und/oder Ersatzbrennstoffprodukte sowie Schlämme eingesetzt werden sollen. Die maximale Brennstoffwärmeleistung der geplanten Anlage beträgt 37,8 MW. Bei der Verbrennungsanlage handelt es sich um eine stationäre Wirbelschichtanlage mit nachgeschaltetem Dampfkessel und konventioneller Abgasreinigung.

Die Abgasreinigung erfolgt mittels Flugstromabsorber, in dem durch Dosierung von Natriumbicarbonat oder Kalkhydrat in den Rauchgasstrom gasförmige saure Abgasinhaltsstoffe in feste Reaktionsprodukte umgewandelt und durch Zugabe von Aktivkohle flüchtige Metalle wie v.a. Quecksilber und schwerflüchtige organische Inhaltsstoffe wie polychlorierte Dibenzodioxine und -furane adsorptiv gebunden werden. Die Abscheidung der Reaktionsprodukte und des Verbrennungsstaubs erfolgt in einem Gewebefilter. Zur Minimierung der Stickoxidemissionen ist eine katalytische Entstickungsanlage (SCR) mit Ammoniak als Reduktionsmittel vorgesehen.

Die im Betrieb der Anlage zu erwartenden Luftschadstoffemissionen und die resultierenden Luftschadstoffimmissionen (Immissionsbeiträge) wurden im Gutachten Nr. A84435-01 vom 12.4.2023 der Müller-BBM Austria GmbH („luftreinhalte-technischen Untersuchung“) beschrieben, das Teil der Antragsunterlagen im abfallrechtlichen Genehmigungsverfahren ist. Eine Ergänzung des Gutachtens aufgrund von Forderungen des zuständigen behördlichen Sachverständigen mit der Gz. A84435-04 stammt vom 9.8.2023. Die Immissionsprognose wurde von der Müller-BBM Austria GmbH mit dem an der Technischen Universität Graz entwickelten Luftschadstoffausbreitungsmodell GRAMM/GRAL durchgeführt.

Die im Schreiben (E-Mail) vom 12.6.2024 aufgeworfenen Fragen zielen letztendlich darauf ab, ob die luftreinhalte-technische Untersuchung (Luftschadstoff-Ausbreitungsrechnung) der Müller-BBM Austria GmbH unter Anwendung des Ausbreitungsmodells GRAMM/GRAL transparent¹, nachvollziehbar² und ihre Ergebnisse richtig sind³, insb. ob

- die meteorologischen Verhältnisse am Standort Frastanz hinreichend korrekt erfasst wurden,
- GRAMM/GRAL das komplexe Gelände am Standortbereich adäquat berücksichtigen kann,
- Schadstoffanreicherungen bei länger andauernden Inversionswetterperioden im Modell abgebildet werden können,
- die zu erwartenden Schadstoffdepositionen korrekt ermittelt wurden.

2. Anforderungen an die Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Richtigkeit von Luftschadstoff-Immissionsprognosen

Nach der ständigen Judikatur des Verwaltungsgerichtshofs (z.B. VwGH vom 21.5.2019, Gz. Ro 2018/03/0050) stellt die Transparenz und Nachvollziehbarkeit eine zentrale Voraussetzung für das Vorliegen eines mängelfreien Gutachtens dar:

„Ein Sachverständigengutachten muss einen Befund und das eigentliche Gutachten im engeren Sinn enthalten. Der Befund ist die vom Sachverständigen - unter Zuhilfenahme wissenschaftlicher Feststellungsmethoden - vorgenommene Tatsachenfeststellung. Die Schlussfolgerungen des Sachverständigen aus dem Befund, zu deren Gewinnung er seine besonderen Fachkenntnisse und Erfahrungen benötigt, bilden das Gutachten im engeren Sinn. Eine sachverständige Äußerung, die sich in der Abgabe eines Urteils (eines Gutachtens im engeren Sinn) erschöpft, aber weder die Tatsachen, auf die sich dieses Urteil gründet, noch die Art, wie diese Tatsachen ermittelt wurden, erkennen lässt, ist mit einem wesentlichen Mangel behaftet und als Beweismittel unbrauchbar. Gleiches gilt, wenn der Sachverständige nicht

¹ Unter „Transparenz“ wird hier verstanden, dass alle Arbeitsschritte der Modellierung (z.B. Wahl eines bestimmten Berechnungsmodus) und alle für die Ergebnisse relevanten Eingangsdaten und Modellparameter im Gutachten dokumentiert sind.

² Unter „Nachvollziehbarkeit“ wird hier ein prüfender Nachvollzug verstanden, ob das angewandte Modell für die betreffende Aufgabenstellung grundsätzlich geeignet, die Arbeitsschritte der Modellierung entsprechend der Aufgabenstellung und alle relevanten Eingangsdaten des Modells und Modellparameter richtig gewählt wurden. Grundvoraussetzung für die Nachvollziehbarkeit ist die Transparenz.

³ Unter „Richtigkeit“ wird ein hinreichend genaues Ergebnis der Modellierung verstanden, d.h. ein Modellierungsergebnis, von dem zu erwarten ist, dass es nur um eine zulässige Fehlerbandbreite von der Realität abweicht. Von der Richtigkeit eines Modellierungsergebnisses ist in der Regel dann auszugehen, wenn die Modelleingaben nachvollziehbar sind und durch hinreichend viele Vergleiche zwischen Modellierungs- und Beobachtungsergebnissen (Modellvalidierung) nachgewiesen ist, dass das Modell in vergleichbaren Anwendungen (z.B. vergleichbare komplexe Geländestrukturen) hinreichend richtige Ergebnisse liefert.

darlegt, auf welchem Weg er zu seinen Schlussfolgerungen gekommen ist.“ [Hervorhebung nicht im Original]

Konkrete Anforderungen an die Nachvollziehbarkeit von Luftschadstoff-Immissionsprognosen (Luftschadstoff-Ausbreitungsrechnungen) sind in der ÖNORM M 9440 (2019) [Lit.1] , hinsichtlich Ausbreitungsrechnungen gem. TA Luft [Lit.2] in der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 13 (2010) [Lit.3] und in der Technischen Grundlage zur Qualitätssicherung in der Luftschadstoff-Ausbreitungsrechnung des Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (2012) [Lit.4] festgelegt.

Allen Regelwerken ist gemeinsam, dass die Eignung des für die Ausbreitungsrechnung verwendeten Modells nachgewiesen sein muss und die in die Modellierung eingehenden Eingangsdaten und Modellparameter so weit angegeben sein müssen, dass ihre Richtigkeit bzw. Plausibilität überprüft werden kann.

In der ÖNORM M9440 wird dazu ausgeführt: *„Ein Modellergebnis gilt als nachvollziehbar, wenn die Vorgehensweise, die zu diesem Ergebnis geführt hat, durch Personen mit fachlichem Grundwissen im Bereich der Immissionsmodellierung überprüfbar ist. Die Nachvollziehbarkeit einer Ausbreitungsrechnung erfordert eine vollständige Dokumentation der Aufgabenstellung, der Eingangsdaten, des verwendeten Modells und der Modellparametrisierung bis hin zur Ergebnisdarstellung.“*

3. Nachvollziehbarkeit der Angaben zu den Luftschadstoffemissionen

Die von einer Anlage verursachten Luftschadstoffimmissionen sind (neben den meteorologischen und z.T. atomosphärenchemischen Randbedingungen – dazu später) abhängig von

- den emittierten Luftschadstofffrachten
- der Form der Freisetzung („Abgasrandbedingungen“ wie insb. Kaminhöhe, Abgastemperatur und Austrittsgeschwindigkeit des Abgases)

Im Folgenden wird nachgeprüft, ob in der luftreinhalte-technischen Untersuchung alle relevanten Emissionsstoffe betrachtet wurden und die Angaben zu den Emissionen und den Abgasrandbedingungen vorhanden und nachvollziehbar sind. Um den Umfang dieser Stellungnahme in Grenzen zu halten, werden nur die Emissionen der Wirbelschichtanlage betrachtet.

3.1. Wurden alle relevanten Emissionsstoffe betrachtet?

Bei IPPC-Anlagen ist nach § 39 Abs. 3 Z. 5 AWG 2002 eine „Beschreibung der zu erwartenden erheblichen Auswirkungen der Emissionen auf die Umwelt“ verpflichtender Bestandteil der Antragsunterlagen. In § 43 Abs. 1 Z.1 AWG 2002 wird explizit der Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen genannt. Infolge des Verweises in § 43 Abs. 1 Z. 6 AWG 2002 auf die öffentlichen Interessen wird in der Genehmigung auch auf die sonstigen Schutzgüter (Wasser, Luft, Boden, Tiere oder Pflanzen und deren natürlichen Lebensbedingungen) abzustellen sein.

In der luftreinhalte-technischen Untersuchung Müller-BBM Austria GmbH wurden nur Emissionsstoffe betrachtet, für die im Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L) und in der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen aus dem Jahr 1984 Immissionsgrenzwerte festgelegt sind (vgl. Auflistung in Tabelle 1).

Tabelle 1: Beurteilungsrelevante Immissionskenngrößen

Stoff	Konzentration				Deposition	Referenz
	HMW _{max}	MW8	TMW _{max}	JMW	Häufigkeit	
(Gesamt-)Staub					(x)	
Feinstaub – PM10			(x)	x		
Feinstaub – PM2.5				x	(x)	
Org. Stoffe (TOC)			(x)	(x)		
Chlorwasserstoff (HCl)	x		x	(x)		
Fluorwasserstoff (HF)	x		(x)	x		TA Luft, 4.4.2 (JMW HF 0,4 µg/m³)
Schwefeldioxid (SO ₂)	x		x	x		
Stickoxide (NOx)				x		
Stickstoffdioxid (NO ₂)	x		(x)	x		
Kohlenstoffmonoxid (CO)	x	(x)				
Ammoniak (NH ₃)	x		x	(x)		
Quecksilber (Hg)				(x)	x	TA Luft, 4.5.1 (JMW Hg 1 µg/m².d)
Cadmium (Cd)				x	x	
Thallium (Tl)					x	TA Luft, 4.5.1 (JMW Tl 1 µg/m².d)
Arsen (As)				x	x	TA Luft, 4.5.1 (JMW As 4 µg/m².d)
Blei (Pb)				x	x	
Chrom (Cr)				x		LAI [Lit.5] (JMW Cr ges 17 ng/m³)
Kupfer (Cu)					x	
Nickel (Ni)				x	x	TA Luft, 4.5.1 (JMW Ni 15 µg/m².d)
Zink (Zn)					x	
Benzo(a)pyren				x	x	TA Luft, 4.5.1 (JMW B(a)P 0,5 µg/m².d)
Dioxine / Furane (PCDD/F)				x	x	TA Luft, 4.5.1 (JMW PCDD/F 15 µg/m².d)

x ...in der luftreinhaltechnischen Untersuchung behandelt

(x) Behandlung nicht unbedingt erforderlich (z.B. bei sehr geringen Immissionskonzentrationen)

x in der luftreinhaltechnischen Untersuchung nicht behandelt

Relevante Auswirkungen auf die Umwelt, insb. auf den Boden und den Pflanzenbestand, können aber auch durch andere Luftschadstoffe, insbesondere infolge Schadstoffdeposition, verursacht werden. Neben den im IG-L geregelten Stoffen Blei und Cadmium sind dies v.a. die Metalle Quecksilber, Thallium, Arsen, Nickel sowie im Bereich der organischen Verbindungen polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F). Für diese Stoffe sind in der TA Luft 2021 [Lit.2] Immissionswerte (Depositionsgrenzwerte) zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen, insb. dem Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen, festgelegt, die als Stand von Wissenschaft und Technik anzusehen sind.

Alle genannten Stoffe können im Abgas einer (Abfall-)Verbrennungsanlage vorkommen. Aus meiner Sicht ist damit die luftreinhaltetechnische Untersuchung unvollständig, da die projektbedingten Depositionsraten der Metalle Quecksilber, Thallium, Arsen und Nickel sowie von PAH (Benzo(a)pyren) und PCDD/F nicht ermittelt wurden.

3.2. Metallanteile im Emissionsstaub

In der luftreinhaltetechnischen Untersuchung (Ergänzung vom 9.8.2023) wird dargelegt, dass „für die Berechnung der Konzentrations- und Depositionsbelastungen der einzelnen Schwermetalle ... die gemessenen Schwermetallanteile bezogen auf die Summe der Schwermetalle im Rohgas einer vergleichbaren Anlage herangezogen“ wurden. Die Ergebnisse der angeführten Vergleichsmessung der Scheuch GmbH wurden in der luftreinhaltetechnischen Untersuchung nicht ausgewiesen.

Aus fachlicher Sicht ist zunächst festzuhalten, dass die Konzentration von Metallen im Abgas einer (Abfall-)Verbrennungsanlage neben der angewandten Abgasreinigungstechnologie stark vom Metallgehalt der eingesetzten Brennstoffe abhängt. Nach den Antragsunterlagen (Anlage 1 der Betriebsbeschreibung „Übersicht der eingesetzten Brennstoffe“) ist u.a. der – mengenmäßig nicht begrenzte - Einsatz von Abfällen der Schlüsselnummer 57801 (Shredderleichtfraktion, metallarm) vorgesehen, die im Vergleich zu den anderen beantragten Brennstoffen wesentlich höhere Schwermetallgehalte aufweist. In **Tabelle 2** sind typische Metallbelastungen verschiedener, im gegenständlichen Zusammenhang relevanter Abfallarten aus mir bekannten Untersuchungsergebnissen zusammengestellt.

Tabelle 2: Vergleich der Metallgehalte verschiedener Abfallbrennstoffe [mg/kg]

Parameter		SN 57801 Shredderleichtfraktion	SN 91103 Rückst. mech. Abfallaufb.	SN 91208 Ersatzbrennstoffe
Antimon	(Sb)	151	51	70
Arsen	(As)	45	1,9	2,4
Blei	(Pb)	2.190	87	108
Cadmium	(Cd)	73	2,6	3,1
Chrom	(Cr)	718	43	131
Cobalt	(Co)	82	4,0	14
Kupfer	(Cu)	9.700	1.076	498
Nickel	(Ni)	694	14	73
Quecksilber	(Hg)	3,1	0,28	0,53
Thallium	(Tl)	8,4	0,1	0,1
Zink	(Zn)	10.400	685	606
Zinn	(Sn)	252	18	25

Die Verteilung der Metallkonzentrationen im Abgas (Reingas) einer Verbrennungsanlage ist zusätzlich von der angewandten Abgasreinigungstechnologie abhängig, sodass Rohgasdaten, wie in der luftreinhalte-technischen Untersuchung verwendet, nicht unbedingt auf die Verhältnisse im Reingas umgelegt werden können.

Dass die Verteilung der Metalle im Abgas einer (Abfall-)Verbrennungsanlage ganz anders sein kann als in der luftreinhalte-technischen Untersuchung (Ergänzung vom 9.8.2023) dargelegt, belegen auch mir vorliegende Messdaten einer ähnlich großen Verbrennungsanlage eines österreichischen Papierherstellers. Die bei dieser Anlage gefundene Metallverteilung weicht signifikant von den Annahmen in der luftreinhalte-technischen Untersuchung ab (Tabelle 3). Angemerkt wird zu den Angaben in der Tabelle, dass Arsen, Blei und Zinn im Abgas einer Verbrennungsanlage auch in Form gasförmiger Verbindungen vorliegen können, wobei aufgrund der großen Kondensatmengen die analytischen Bestimmungsgrenzen für den gasförmigen Anteil vergleichsweise hoch sind. Bei der in Tabelle 3 angegebenen Metallverteilung wurden Untersuchungsergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze des Analysenverfahrens mit dem 0,5-fachen Wert der Bestimmungsgrenze angenommen.

Tabelle 3: Vergleich Konzentrationsverteilung Metalle [Masse-%]

Metall	Lufttechnische Untersuchung	Vergleichsanlage (Reingas)	
		staubgebunden	gesamt
Antimon (Sb)		1,1	0,8
Arsen (As)	0,10	0,6	8,9
Blei (Pb)	10	9,5	9,0
Chrom (Cr)		20,9	15,9
Cobalt (Co)		0,6	0,5
Kupfer (Cu)	66	17,8	13,6
Mangan (Mn)		34,3	26,1
Nickel (Ni)	2,00	13,2	9,6
Vanadium (V)		0,6	0,5
Zinn (Sn)		1,3	15,1

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die in der luftreinhalte-technischen Untersuchung (Ergänzung vom 9.8.2023) angenommenen Emissionskonzentrationen von Metallen im Abgas der Wirbelschichtanlage nicht nachvollziehbar sind und insb. bei Arsen, Nickel und (im Fall des Einsatzes von Shredderabfällen) Blei von wesentlich höheren Emissionskonzentrationen bzw. Emissionsanteilen auszugehen ist.

3.3. Abgasvolumenstrom

In den Antragsunterlagen gibt es unterschiedliche Angaben zur Brennstoffwärmeleistung der Wirbelschichtanlage

- Betriebsbeschreibung, Seite 9: 34,7 MW
- Betriebsbeschreibung, Seite 12, Tabelle 2 (Übersicht der eingesetzten Festbrennstoffe): Aus den Angaben in der Tabelle errechnet sich bei 8.000 Betriebsstunden pro Jah eine Brennstoffwärmeleistung von 32,11 MW

- Müller-BBM, luftreinhaltetechnische Untersuchung, Seite 6: „maximale Brennstoffwärmeleistung ... in Summe 37,8 MW (Festbrennstoffe und Gas)“
- Müller-BBM, luftreinhaltetechnische Untersuchung, Anhang: 34,76 MW

und zu den Brennstoffmengen

- Betriebsbeschreibung, Seite 12, Tabelle 2 (Übersicht der eingesetzten Festbrennstoffe): Aus den Angaben in der Tabelle ergibt sich eine Brennstoffmenge von 84.933 t/a
- Betriebsbeschreibung, Seite 13, Abbildung 3 (Feuerleistungsdiagramm): Aus dem Feuerleistungsdiagramm ergibt sich am Lastpunkt 1 (maximale Brennstoffmenge bei Nennleistung: 11,34 t/h bei $H_u = 11,0$ MJ/kg) bei 8.000 Betriebsstunden/Jahr eine Brennstoffmenge von 91.200 t/a

Da es aus meiner Sicht keinen technischen Grund gibt, die Anlage nicht auch ausschließlich mit Festbrennstoffen mit einer Brennstoffwärmeleistung von 37,8 MW zu betreiben, wurden die für die Ermittlung der Emissionsfrachten wesentlichen Angaben im Anhang der Immissionsprognose (Betriebsvolumenstrom bei 140°C 88.524 Bm^3/h , Abgasmenge Kamin bei Bezugsbedingungen (trockenes Abgas, 11 Vol-% O_2) 80.388 Nm^3/h) mittels Verbrennungsrechnung unter Annahme typischer Zusammensetzungen der vorgesehenen Brennstoffarten für einen Heizwert von $H_u = 11,0$ MJ/kg der Brennstoffmischung und einer Brennstoffwärmeleistung von 37,8 MW nachgerechnet. Die Berechnungsergebnisse stimmen gut mit den Angaben in der Immissionsprognose überein. Die Basis für die Luftschadstoff-Frachtberechnungen ist damit aus meiner Sicht nachvollziehbar bzw. beinhalten bei Annahme einer max. Brennstoffwärmeleistung von 34,76 MW ausreichend Reserven.

3.4. Berücksichtigung der Korngrößenverteilung bei staubgebundenen Emissionsstoffen

Die Emissionsdaten für die Wirbelschichtanlage sind in der luftreinhaltetechnischen Untersuchung im Anhang (Tabelle 44) wiedergegeben. Weder in der entsprechenden Tabelle noch im Text finden sich Angaben, welchen Korngrößenklassen der Emissionsstaub bzw. die staubgebundenen Emissionsstoffe (insb. staubgebundene Metalle) zugeordnet werden.

Die Depositionsgeschwindigkeiten für Stäube bzw. Staubinhaltsstoffe sind massiv abhängig vom Partikeldurchmesser. Gemäß TA Luft 2021 [Lit.2], Anhang 2, Punkt 4 unterscheiden sich die Depositionsgeschwindigkeiten von Stäuben der Klassen 1 ($<2,5 \mu\text{m}$), 2 ($2,5 - 10 \mu\text{m}$) und 3 ($10 - 50 \mu\text{m}$) um den Faktor 10 (Klasse 1 – Klasse 2) bzw. 50 (Klasse 1 – Klasse 3), die Auswaschfaktoren um den Faktor 5 bzw. ca. 15. Die mit dem Ausbreitungsmodell berechneten Schadstoffdepositionsraten für Stäube bzw. staubgebundene Emissionsstoffe sind damit entscheidend davon abhängig, welcher Korngrößenklasse bzw. welchen Klassen der Emissionsstaub bzw. staubgebundene Emissionsstoffe zugeordnet wurden. Die entsprechenden Angaben sind daher für die Nachvollziehbarkeit der modellierten Schadstoffdepositionsraten unverzichtbar, fehlen aber in der luftreinhaltetechnischen Untersuchung gänzlich.

4. **Ausbreitungsrechnung mit GRAMM/GRAL**

4.1. Kurzbeschreibung des Modellsystems GRAMM/GRAL

Für das Verständnis der nachfolgenden Ausführungen ist es wesentlich, zumindest dem Grunde nach zu verstehen, wie das Modellsystem GRAMM/GRAL aufgebaut ist und wie es funktioniert.

Bei GRAL/GRAMM handelt es sich um ein an der Technischen Universität Graz entwickeltes Modellsystem, das aus dem mesoskaligen⁴ prognostischen⁵ Windfeldmodell GRAMM (*Graz Mesoscale Model*) und dem daran gekoppelten Lagrange'schen Partikelmodell mit integriertem mikroskaligem prognostischem Windfeldmodell GRAL (*Graz Lagrangian Model*) besteht. Das Modellsystem ist öffentlich und kostenfrei verfügbar⁶.

Das Modellsystem wird ständig weiterentwickelt und liegt derzeit in der Version V24.04 vor. Von der Müller-BBM Austria GmbH angewendet wurde die Vorläuferversion V22.09 (Dokumentation GRAMM in [Lit.6], GRAL in [Lit.7], graphisches Benutzerinterface (GUI) in [Lit.8]). Alle folgenden Ausführungen beziehen sich auf die im gegenständlichen Fall angewendete Modellversion V22.09.

4.1.1. Windfeldmodellierung mit GRAMM

Bei Vorliegen eines komplexen Geländes besteht der erste Schritt einer Ausbreitungsrechnung mit dem Modellsystem GRAMM/GRAL in der Berechnung räumlich relativ grob aufgelöster 3-dimensionaler Windfelder (horizontale Maschenweite des Rechengitternetzes typischerweise 100 m bis 300 m, vertikale Anpassung an das Gelände mit unterschiedlichen Streckungs-Faktoren bis zur oberen Modellgrenze) für alle Stunden⁷ eines Jahres.

Primäre Eingangsgrößen in das Modell sind die Topografie und die Landnutzungsstruktur⁸ im Modellgebiet sowie im einfachsten Fall eine Zeitreihe von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse an einem bestimmten Standort im Modellgebiet. Dieser Zugang führt allerdings zu großen Unsicherheiten der modellierten Windfelder: „Using such simple meteorological input data for a mesoscale model means that large uncertainties in computed flow fields evolve due to unknown surface temperatures, soil temperatures, soil moisture distributions, snow cover, etc.“ ([Lit.9], Seite 5). Empfohlen wird daher die Kalibrierung vorab berechneter artifizierender Windfelder an Hand der Messdaten an konkreten Messstationen im Untersuchungsgebiet. Die Windfeldmodellierung in der empfohlenen und im gegenständlichen Fall angewendeten Modellierungsstrategie erfolgt dann in 2 Schritten:

- **Schritt 1:** Erzeugung einer Windfeldbibliothek für ein Set kategorisierter meteorologischer Situationen, die den meteorologischen Antrieb des Modells am Modellrand darstellen. Jede meteorologische Situation wird an Hand der Windrichtung (eingeteilt in Windrichtungsklassen mit z.B. 10° oder 20° Klassenbreite), Windgeschwindigkeit (eingeteilt in Geschwindigkeitsklassen) und Ausbreitungsklasse als Maß für die atmosphärische Stabilität charakterisiert.

Die Berechnungen mit GRAMM werden über Kontrollparameter gesteuert, von Bedeutung ist im

⁴ Bereich von einigen km bis ca. 250 km.

⁵ In prognostischen Strömungsmodellen werden die Grundgleichungen der atmosphärischen Strömungsmechanik explizit gelöst. Diese Modelle können damit auch mit komplexen Geländestrukturen und je nach Modellkonzeption z.B. auch thermisch induzierten meteorologischen Phänomenen (z.B. Kaltluftabflüsse) umgehen.

Das Modell GRAMM löst die Erhaltungsgleichungen für Masse, Energie, Impuls sowie Feuchte in der Atmosphäre und enthält zusätzlich ein Strahlungsmodell und ein Oberflächenmodell. Das Strahlungsmodell berücksichtigt die kurz- und langwellige Einstrahlung. Das Oberflächenmodell zieht für die Berechnung der Energiebilanz an der Oberfläche verschiedene Landnutzungskategorien heran, aus denen die Oberflächenrauigkeit, der Albedo, die Emissivität, die Bodenfeuchte, die spezifische Wärmekapazität des Bodens und der Wärmeübergangskoeffizient abgeleitet werden. Der vertikale Temperaturgradient, der Feuchtegradient und der Sonnenwinkel werden über vorgegebene Stabilitätsparameter („Ausbreitungsklassen“) abgeleitet.

⁶ <https://gral.tugraz.at/>

⁷ Wenn wie im gegenständlichen Fall die zeitliche Auflösung des Modells mit einer Stunde gewählt wird.

⁸ Bodenbedeckung wie z.B. Wald, Grünland, Wasser ...

gegenständlichen Zusammenhang die „*sunrise option*“, die eine genauere (sonnenstandabhängige) Simulation von großräumigen Talwindsystemen erlaubt.

Schritt 2: Im zweiten Schritt werden die so generierten Windfelddaten mit Beobachtungsdaten an beliebig vielen konkreten Messstandorten „gematcht“ (Methode „match-to-observation“), indem für die jeweiligen (ggf. gewichteten) Beobachtungsdaten jenes Windfeld aus Schritt 1 ausgewählt wird, das für alle Messstationen insgesamt die beste Übereinstimmung zwischen modellierter und gemessener Windrichtung und Windgeschwindigkeit liefert. Das Ergebnis des match-to-observation-Algorithmus ist eine Zeitreihe mit Zuordnung des jeweiligen Windfeldes aus Schritt 1 zu einem bestimmten Zeitpunkt eines Jahres. Es gibt eine Vielzahl von Einstellungen, mit denen der match-to-observation-Prozess gesteuert werden kann (vgl. [Lit.8], Seite 143 ff.).

Insgesamt ist die Windfeldberechnung mit GRAMM für ein größeres Untersuchungsgebiet sehr rechenzeitintensiv. Daher verfolgt man in einigen Bundesländern, v.a. Steiermark (Windfeldbibliothek 2015 [Lit.10], Windfeldbibliothek 2017 [Lit.11]⁹) und Kärnten [Lit.12], das Konzept, Windfeldbibliotheken für das Bundesland (aufgeteilt in zahlreiche Untergebiete) zentral zu erstellen und diese den Anwendern für darauf aufsetzende Ausbreitungsrechnungen mittels GRAL zur Verfügung zu stellen.

4.1.2. Ausbreitungsrechnung mit GRAL

Die GRAMM-Windfelder dienen als meteorologische Randbedingungen für Ausbreitungsrechnungen mit GRAL.

Bei GRAL handelt es sich, um ein Lagrange'sches Partikelmodell (Teilchensimulationsmodell) gekoppelt mit einem mikroskaligen prognostischen oder wahlweise auch diagnostischen Windfeldmodell. Das Modell kann kleinräumige Geländestrukturen und die Um- bzw. Überströmung von Gebäuden berücksichtigen. Die Berechnungen erfolgen in einem 3-dimensionalen Rechengitter mit einer horizontalen Auflösung bis herab in den Bereich von wenigen Metern.

Standardmäßig wird GRAL im steady-state Modus betrieben, bei dem eine meteorologische Situation (jede Stunde einer Zeitreihe) nach der anderen abgearbeitet wird. GRAL kann auch in einem transienten Modus betrieben werden, in dem die Schadstoffkonzentration des vorangegangenen Berechnungsintervalls gespeichert und bei der Berechnung der Immissionskonzentration des nachfolgenden Berechnungsintervalls berücksichtigt wird. Die nasale Deposition kann nur im transienten Modus berechnet werden.

4.2. Nachvollziehbarkeit und Richtigkeit der Windfeldmodellierung mit GRAMM

4.2.1. Modellvalidierung, Güte von Windfeldberechnungen mit GRAMM

GRAMM wurde nach der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 [Lit.13], Ausgabe 2015, evaluiert. Die Modellphysik kann damit als validiert angesehen werden, d.h. das Modell kann bei geeigneter Wahl der Initialisierungs- und Eingangsparameter mechanisch und thermisch induzierte Strömungen im komplexen Gelände der Realität entsprechend simulieren.

Der Nachweis einer geeigneten Modellphysik ist aber nur eine notwendige, wegen der Unsicherheiten in den Randbedingungen jedoch keine hinreichende Bedingung für die Richtigkeit von

⁹ Für die Windfeldbibliothek Steiermark 2017 wurde das Modell GRAMM-SCI V22.06 (Grazer Mesoskaliges Modell - Scientific) verwendet, das eine andere Modellierungsstrategie verfolgt, die hier nicht näher behandelt werden kann.

Modellierungsergebnissen mit GRAMM. Für die Güte der Modellierungsergebnisse sind vielmehr die Möglichkeiten und Grenzen der match-to-observation-Methode entscheidend.

Wie präzise die Windfeld-Modellierung mit GRAMM ist, kann am besten anhand der Windfeldbibliotheken der Bundesländer Steiermark und Kärnten abgeschätzt werden. Im Folgenden wird die Windfeldbibliothek Kärnten [Lit.12] herangezogen, da nur diese mit der öffentlich zugänglichen Version von GRAMM erstellt wurde. Die Windfeldbibliothek Kärnten gliedert sich in 9 Teilgebiete, für den match-to-observation wurden insgesamt 36 meteorologische Messstationen verwendet, für jedes Teilgebiet mindestens 4.

Die Güte der Modellierung kann an Hand der benchmark-Werte des Technical Reference Guide der Europäischen Umweltagentur ([Lit.14], Seite 71) – mittlerer Fehler (BIAS) der berechneten Windgeschwindigkeit $< \pm 0.5$ m/s; BIAS Windrichtung $< \pm 10$ Grad – beurteilt werden¹⁰. Bei den Kärntner Windfeldberechnungen entsprachen die berechneten Windgeschwindigkeiten bei fast allen Stationen den Anforderungen der Richtlinie. Bei der berechneten Windrichtungsverteilung traten bei ca. einem Drittel der Messstationen über den benchmark-Werten der EEA liegende (systematische) Abweichungen auf (Tabelle 4).

Tabelle 4: Güte der GRAMM-Windfeldmodellierung Kärnten – Anzahl von über den benchmark-Werten gem. [Lit.14] liegenden Abweichungen der berechneten Windgeschwindigkeit und Windrichtungsverteilung an den match-to-observation-Stationen

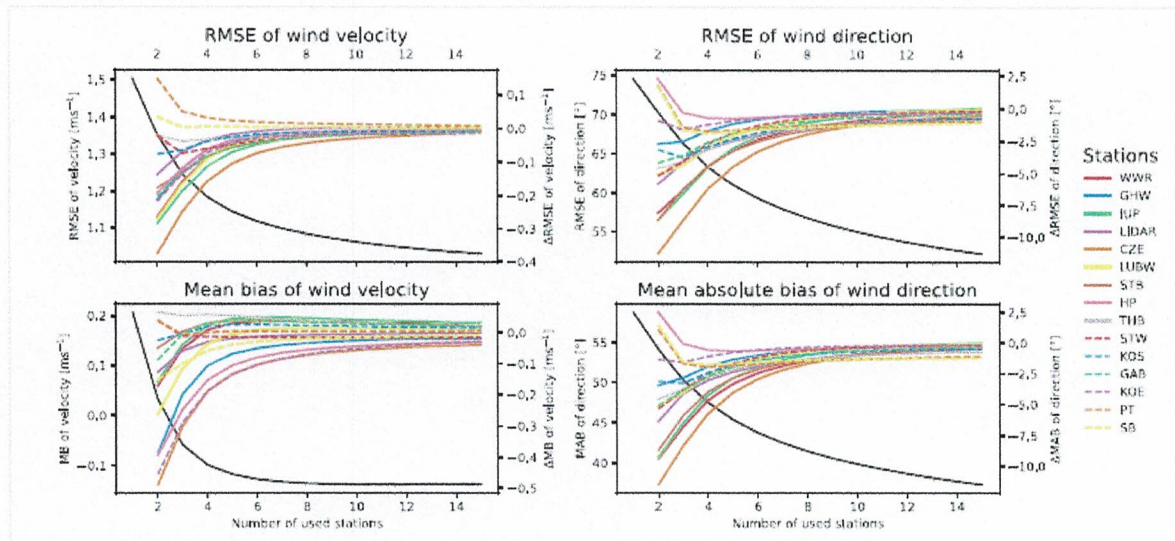
Lage	Anzahl Messstationen	Windgeschwindigkeit	Windrichtung
Becken	9	0	3
Berg	2	2	0
Hang	7	1	4
Tal	18	0	6
alle	36	3	13

Von May et al. [Lit.15] wurde in jüngster Zeit für den Raum Heidelberg (komplexes Gelände, städtische Bebauung) untersucht, wie gut die tatsächlichen Windverhältnisse an den 15 im Untersuchungsgebiet vorhandenen meteorologischen Messstationen durch das Modellsystem GRAMM/GRAL in Bodennähe simuliert werden können. Für die Evaluierung wurden die hoch aufgelösten GRAL-Windfelder mit den Beobachtungsdaten verglichen und geprüft, wie viele Stationsdaten für den match-to-observation-Prozess erforderlich sind, um eine hohe Güte der Windfeldsimulation zu erreichen. Dazu wurde schrittweise die Anzahl der für den match-Prozess herangezogenen Messstationen erhöht und jeweils die mittlere Abweichung zwischen simulierter und gemessener Windgeschwindigkeit bzw. Windrichtungsverteilung an allen Messstationen ermittelt. Die Untersuchungen zeigen, dass eine hohe Güte der Windfeldsimulation nur dann erreicht wird, wenn eine große Anzahl von Messstationen für den match-Prozess verwendet wird (vgl. Abbildung 1). Das vertikale Profil der Windgeschwindigkeit wurde bei den Modellierungen generell nur schlecht getroffen.

Zusammenfassend kann damit festgehalten werden, dass das Windfeldmodell GRAMM nur eine Approximation der tatsächlichen meteorologischen Verhältnisse an einem Standort liefern kann, deren Güte von zahlreichen Faktoren, insb. aber einer ausreichenden Anzahl (und Qualität) von Referenzdaten (meteorologische Daten von Messstationen im Untersuchungsgebiet) für den match-to-observation-Prozess abhängig ist.

¹⁰ In [Lit.12], Seite 19 wird ein eigener Bewertungsmaßstab für die Güte der Modellierung verwendet.

Abbildung 1: Mittlerer Fehler (Abb. unten) der berechneten durchschnittlichen Windgeschwindigkeit und Windrichtungsverteilung in Abhängigkeit von der Anzahl der für den match-Prozess verwendeten Messstationen (entnommen aus [Lit.15]).



4.2.2. Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Windfeldmodellierung für den Raum Frastanz

Der luftreinhaltetechnischen Untersuchung ist nur zu entnehmen, dass die GRAMM-Windfelder von der ZAMG (nunmehr: GeoSphere Austria GmbH) für ein Gebiet von 31 km x 24,4 km mit einer horizontalen Auflösung von 200 m großräumig modelliert und für die Ausbreitungsmodellierung zur Verfügung gestellt wurden. Für die Anpassung der modellierten Basis-Windfelder („matching“) wäre die ZAMG-Messstelle Bludenz sowie „ein INCA-Gitterpunkt in Frastanz“¹¹ verwendet worden. „Die verwendeten Modellparameter, die Berechnungsergebnisse und der Vergleich der gemessenen und modellierten Windverteilungen kann dem Bericht der ZAMG entnommen werden.“ Ob für die Berechnung die „sunrise option“ verwendet wurde, ist nicht bekannt.¹²

Der Bericht der ZAMG wird in den Antragsunterlagen nicht wiedergegeben bzw. ist kein Bestandteil der luftreinhaltetechnischen Untersuchung. Die luftreinhaltetechnische Untersuchung ist daher in Bezug auf die Windfeldmodellierung mit GRAMM völlig intransparent und ein Nachvollzug i.S. der Anforderungen gem. Punkt 6.7 der ÖNORM M 9440 [Lit.1] – siehe nachstehend – nicht möglich.

„Falls auf Grund einer komplexen Topografie ... der Ausbreitungsrechnung ein Strömungsmodell (...) vorgeschaltet wird, ist Folgendes zu beachten:

- Das verwendete Strömungsmodell ist zu erläutern und die Eignung des Modells für die gegenständliche Untersuchung nachzuweisen (z.B. durch Literaturzitate).
- Das Modellgebiet für die Strömungsmodellierung, die horizontale und vertikale Auflösung der

¹¹ INCA ist das Analyse- und Nowcastingsystem von Geosphere Austria. Das Modell verwendet alle verfügbaren Datenquellen – Stationsbeobachtungen, Fernerkundungsdaten, numerische Wettervorhersagemodelle und ein hochaufgelöstes Geländemodell – um eine möglichst gute Analyse des Zustands der (bodennahen) Atmosphäre zu erstellen. Die INCA-Daten haben eine räumliche Auflösung von 1 km x 1 km und eine zeitliche Auflösung von 1 Stunde und können als Zeitreihen für eine bestimmte Gitterzelle vom Data-Hub der Geosphere Austria downgeloadet werden.

¹² Nach meinem Wissensstand wird von der GeoSphere Austria GmbH im Allgemeinen bei Modellierungen mit GRAMM diese Option nicht verwendet.

Windfeldberechnung und die hierfür verwendeten Eingangsdaten sind anzugeben.

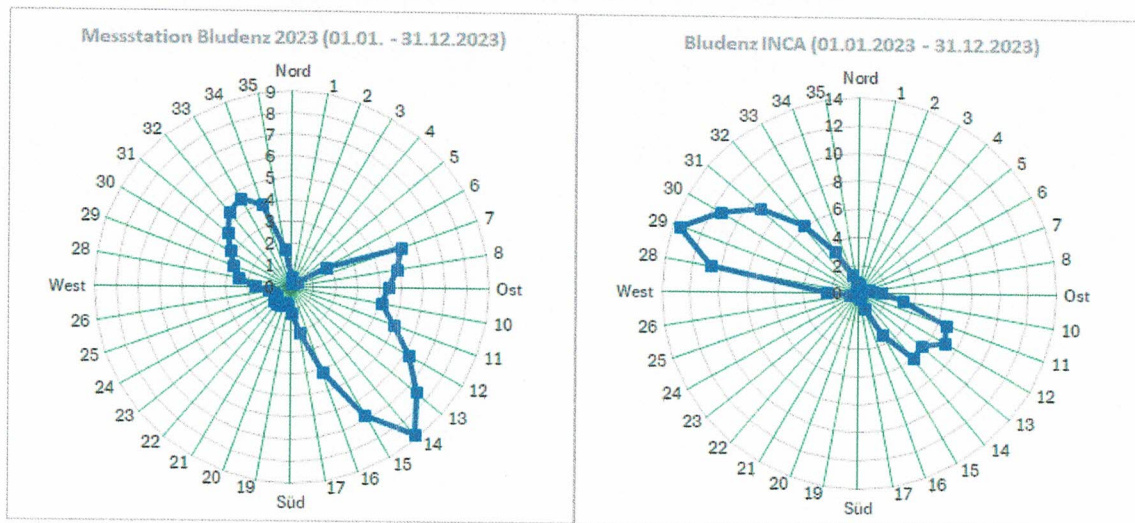
- Die Plausibilität der berechneten Windfelder/Winddaten für das Untersuchungsgebiet ist zu überprüfen.
- Simulierte Strömungsfelder für die häufigsten Strömungslagen ... sind gegebenenfalls zur besseren Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse dazustellen.“

4.2.3. Verwendung von INCA-Daten für den „match-to-observation“-Prozess

INCA liefert Windfelder, die aufgrund der Modellauflösung (1 km x 1 km) die Topographie nur grob berücksichtigen können. Eine Modellierung lokaler thermischer Windsysteme ist außerdem mit INCA nicht möglich. Dass INCA nur eine grobe Näherung an die tatsächlichen meteorologischen Verhältnisse an einem Standort liefert bzw. liefern kann, erkennt man gut, wenn man die gemessene Windrose am Standort Bludenz ([Abbildung 2](#), links) mit den INCA-Daten vergleicht ([Abbildung 2](#), rechts). Die lokale Messstation ist stark von der Topographie am Messstandort bestimmt, während die INCA-Windrose – erwartungsgemäß – nur dem großräumigen Talverlauf entspricht.

Da der „match-to-observation“-Prozess zur Kalibrierung der (per se ungenauen GRAMM-Windfelder) die bessere Information (Messdaten an einem bestimmten Standort) benötigt, erscheint es grundsätzlich widersinnig, im komplexen alpinen Gelände für das „matchen“ die „schlechtere Information“ in Form der für einen bestimmten Standort zwangsläufig ungenauen INCA-Windfelder heranzuziehen.

Abbildung 2: Vergleich Messdaten – INCA (Standort Messstation Geopshere Bludenz)

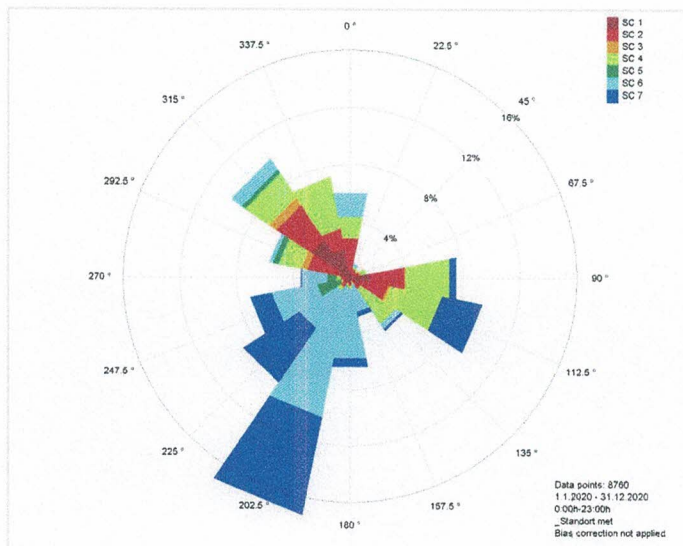


4.2.4. Vergleich INCA- GRAMM-Windfelder am Standort Frastanz

Die modellierten meteorologischen Verhältnisse am Standort werden unter Punkt 3.4.2.2 der luftreinhalte-technischen Untersuchung u.a. in Form von Windrosen beschrieben (auszugsweise in [Abbildung 3](#), die Darstellung bezieht sich vermutlich auf eine Anemometerhöhe von 10 m¹³).

¹³ Es ist nicht angegeben, ob es sich um Winddaten aus der GRAMM-Modellierung oder aus GRAL handelt.

Abbildung 3: Windrose + Ausbreitungsklassen am Projektstandort gem. luftreinhalte technischer Untersuchung



Auffällig ist der hohe mit GRAMM modellierte Anteil an Einströmungen aus Richtung Süd – Südwest mit einer Häufigkeit von über 30%, dies bei durchgehend stabilen bzw. sehr stabilen Ausbreitungsbedingungen und praktisch ausschließlich in den Abend- und Nachstunden. Die Simulation ergibt damit einen sehr hohen Anteil an nächtlichen Kaltluftabflüssen aus dem Saminatal.

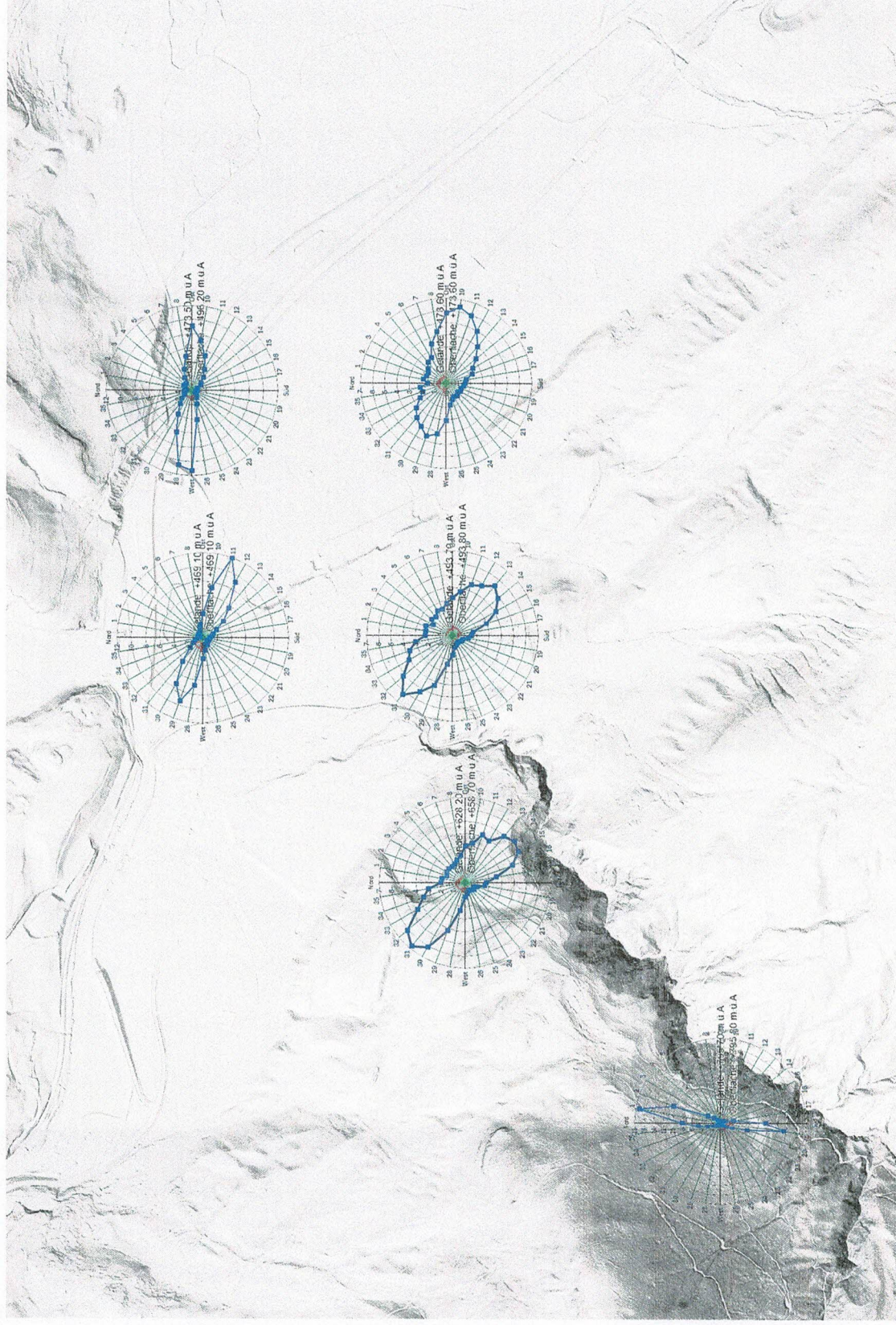
Da nicht bekannt ist, welcher INCA-Gitterpunkt im Bereich von Frastanz für das match-to-observation Verfahren verwendet wurde, wurde geprüft, ob und wie weit die in der luftreinhalte technischen Untersuchung ausgewiesene Windrichtungsverteilung mit den INCA-Daten im Bereich Frastanz übereinstimmt und daher aus der Verwendung von INCA-Daten herrührt. Die geplante Anlage liegt am Schnittpunkt von 4 INCA-Gitterzellen, bei denen INCA immer eine dem großräumigen Talverlauf folgende Windrichtungsverteilung liefert. Nur wenn man in das Saminatal hineingeht, dreht die Windrichtung auf annähernd Nord-Süd (Abbildung 4). Es könnte daher sein, dass für das „matchen“ keine INCA-Daten vom Anlagenstandort, sondern aus dem Saminatal verwendet wurden. Dies würde den starken Einfluss von Kaltluftabflüssen aus dem Saminatal in den GRAMM-Windfeldern erklären, erscheint aber aus fachlicher Sicht trotzdem hoch problematisch, da INCA keine lokalen thermischen Windsysteme beschreiben kann.

4.2.5. Anforderungen an die meteorologischen Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung

Für das match-to-observation-Verfahren ist zumindest eine meteorologische Zeitreihe erforderlich, die neben (Stundendaten) der Windrichtung und Windgeschwindigkeit auch Daten zur atmosphärischen Stabilität (Ausbreitungsklassen) umfasst. Ausbreitungsklassen können nach verschiedenen Methoden bestimmt werden, wobei neben der Windgeschwindigkeit Daten zur Bewölkung oder Strahlungsbilanz oder Globalstrahlung und dem vertikalen Temperaturgradienten vorhanden sein müssen.

Nach ÖNORM M 9440 sind Daten zur Globalstrahlung, Strahlungsbilanz oder dem vertikalen Temperaturgradienten auch über größere räumliche Distanzen bis 100 km übertragbar, allerdings nur, wenn dargelegt werden kann, dass die Messungen nicht durch lokale Effekte beeinflusst sind und dass die Beobachtungsdaten an der Station für das Untersuchungsgebiet repräsentativ sind.

Abbildung 4: Windrichtungsverteilung INCA 2023 im Raum Frastanz (Quelle: DataHub der GeoSphere Austria GmbH)



Weiterhin gem. Punkt 5.2.3 der ÖNORM M 9440: „Zielt eine Ausbreitungsrechnung auf die Prognose von kurzfristigen Konzentrationswerten ab (z.B. Halbstundenmittelwert, HMW), so ist darauf zu achten, dass die Werte für die Bewölkung, Globalstrahlung, Strahlungsbilanz bzw. die vertikalen Temperaturgradienten möglichst an einem repräsentativen Standort im Untersuchungsgebiet erhoben werden.“

Die gegenständliche Windfeldmodellierung bzw. Ausbreitungsrechnung zielt ohne Zweifel (auch) auf die Prognose von kurzfristigen Konzentrationswerten (HMW) ab bzw. muss auf diese abzielen. Die nächste meteorologische Messstelle ist nach meinem Wissen jene der GeoSphere Austria in Bludenz, an der aber nur die bodennahe Temperatur und die Globalstrahlung gemessen werden. Es erscheint daher zweifelhaft, ob im gegenständlichen Fall überhaupt eine Messung der für die Bestimmung der Ausbreitungsklassen erforderlichen Parameter „an einem repräsentativen Standort im Untersuchungsgebiet“ vorliegt.

4.2.6. Schlussfolgerungen

Die Windfeldmodellierung mit GRAMM ist mangels Offenlegung des diesbezüglichen Berichts der ZAMG völlig intransparent und damit auch nicht nachvollziehbar.

Besonders problematisch und für einen Anlagenstandort im komplexen alpinen Gelände aus fachlicher Sicht abzulehnen ist die Verwendung der zwangsläufig bezogen auf einen bestimmten Standort nur sehr ungenauen INCA-Modelldaten als Referenz für den match-to-observation-Prozess in GRAMM. Die Plausibilität der mit Gramm modellierten Windfelder erscheint daher höchst zweifelhaft.

Am Anlagenstandort ist aufgrund der Geländesituation sicherlich mit einem gewissen Ausmaß an nächtlichen Kaltluftabflüssen aus dem Saminatal zu rechnen. Ob allerdings der mit GRAMM modellierte sehr hohe Anteil an solchen Anströmungen aus SSW realistisch ist, erscheint sehr fraglich.

Letztendlich kann aus meiner Sicht nur durch eine eigene meteorologische Messung im Bereich des Anlagenstandorts, die auch die für die Bestimmung der Ausbreitungsklassen erforderlichen Parameter umfassen muss, Sicherheit über die lokalen meteorologischen Verhältnisse – die die Ausbreitung der Luftschadstoffe bestimmen – gewonnen werden. Zugleich würde damit die Datenbasis für die Erzeugung der „gematchten“ GRAMM-Windfelder massiv verbessert.

4.3. Nachvollziehbarkeit und Richtigkeit der Ausbreitungsrechnung mit GRAL

4.3.1. Modellvalidierung

Der Vergleich modellierter mit gemessenen Immissionskonzentrationen unter genau definierten Bedingungen ermöglicht eine Beurteilung, wie gut eine Luftschadstoff-Ausbreitungsmodell die Realität abbilden kann.

Im gegenständlichen Fall ist zu berücksichtigen, dass GRAL als solches nur für flaches Gelände (mit oder ohne Strömungshindernissen wie Gebäuden) beurteilt werden kann, während im komplexen Gelände der Ausbreitungsrechnung (und zusätzlichen mikroskaligen Windfeldmodellierung) immer eine Berechnung der größer-räumigen Windfelder mit GRAMM vorausgehen muss.¹⁴

Zu unterscheiden ist weiterhin, ob die Schadstoff-Freisetzung bodennah oder in größerer Höhe stattgefunden hat, da bei hohen Quellen wie z.B. dem Abgaskamin einer Verbrennungsanlage das vertikale

¹⁴ Wenn z.B. der Effekt einer unterschiedlichen Bodennutzung (Rauigkeitslänge) im Untersuchungsgebiet berücksichtigt werden soll, muss den GRAL-Berechnungen auch im flachen Gelände eine Windfeldmodellierung mit GRAMM vorgeschaltet werden („flat terrain option“).

Windprofil (Änderung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung mit der Höhe) eine wesentliche Rolle spielt. Im gegenständlichen Fall interessieren v.a. Validierungsfälle für hohe Quellen im komplexen Gelände.

Für die GRAL-Version V22.09 sind in [Lit.7] insgesamt 29 Validierungsfälle dokumentiert, davon 21 für bodennahe Quellen überwiegend im flachen Gelände. Von den 8 Validierungsfällen für hohe Quellen liegen nur 2 im komplexen Gelände (vgl. Übersicht über die Validierungsfälle in Tabelle 5).

Tabelle 5: Validierungsfälle GRAL-Version V22.09

Fall	Gelände	Hindernisse	Tracer	Quelle	Quellhöhe
Prairie Grass	flach	keine	SO ₂	Punktquelle	niedrig
Idaho	flach	keine	SF ₆	Punktquelle	niedrig
Raaba	flach	keine	SF ₆	Punktquelle	niedrig
Idaho Falls	flach	keine	SF ₆	Linienquelle	niedrig
Elimaeki	flach	keine	NOx	Linienquelle	niedrig
Dikopshof	flach	keine	Partikel	?	niedrig
Windtunnel	flach	Gebäude		Punktquelle	niedrig
Parkplatz Wien	flach	Gebäude	SF ₆	Flächenquelle	niedrig
Uttenweiler	flach	Gebäude	SF ₆	Punktquelle	niedrig
Roager	flach	Gebäude	?	Punktquelle	niedrig
AGA Texas	flach	Gebäude	SF ₆	Punktquelle	niedrig
AGA Kansas	flach	Gebäude	SF ₆	Punktquelle	niedrig
Colorado Oil	flach	Gebäude	NOx	Punktquelle	niedrig
Schweinestall	flach	Gebäude	Geruch	Punktquelle	niedrig
Idaho Falls	flach	Lärmschutzwand	SF ₆	Linienquelle	niedrig
Göttinger Straße	flach	Straßenschlucht	NOx	Linienquelle	niedrig
Frankfurter Allee	flach	Straßenschlucht	NOx	Linienquelle	niedrig
Hornsgatan	flach	Straßenschlucht	NOx	Linienquelle	niedrig
Indianapolis	flach	keine	SF ₆	Kamin	hoch
Lillestroem	flach	keine	SF ₆	Punktquelle	hoch
Copenhagen	flach	keine	SF ₆	Punktquelle	hoch
Koncaid	flach	Gebäude	SF ₆	Kamin	hoch
Alaska North slope	flach	Gebäude	SF ₆	Kamin	hoch
EOCR	flach	Gebäude	?	Punktquelle	unterschiedlich
Ninomiya tunnel	komplex	Tunnelportal	SF ₆	Tunnelportal	niedrig
Hitachi tunnel	komplex	Tunnelportal	SF ₆	Tunnelportal	niedrig
Enrei tunnel	komplex	Tunnelportal	SF ₆	Tunnelportal	niedrig
Gratkorn	komplex	?	SO ₂	Kamin	hoch
Westvaco Paper Mill	komplex	keine	SO ₂	Kamin	hoch

Die Interpretation der Validierungsrechnungen in der GRAL-Dokumentation [Lit.7] ist nicht allzu einfach, da einerseits zur Charakterisierung der Güte der Modellierung zum Teil Quantil-Quantil-Plots, zum Teil auch nur statistische Fehlermaße (mittlere quadratische Abweichung, fractional bias) angegeben werden,

andererseits Ergebnisse für unterschiedliche GRAL-Versionen, „level“¹⁵ und Modelloptionen¹⁶ ausgewiesen werden.

Vereinfachend kann man die Validierungsergebnisse so zusammenfassen, dass bei „passender“ Wahl des „levels“ und der Modelloption der Mittelwert der gemessenen Immissionskonzentration in der Regel vom Modell gut getroffen wird, bei Kurzzeitwerten aber häufig hohe Abweichungen (meist Unterschätzung) zwischen gemessenen und modellierten Werten bestehen.

Angemerkt wird in diesem Zusammenhang, dass die Validierungsergebnissen bei unterschiedlichen Modellversionen von GRAL bzw. GRAMM/GRAL wegen der immer wieder stattfindenden Anpassung der Modellphysik unterschiedlich sein können.

4.3.2. „Steady state“ oder „transient“?

GRAL kann entweder im (standardmäßigen) „steady-state“-Modus betrieben werden, bei dem die einzelnen meteorologische Situationen nacheinander abgearbeitet werden, oder – wesentlich aufwändiger – im „transient mode“, in dem sich das Modell die Schadstoffkonzentration des vorangegangenen Berechnungsintervalls „merkt“ und bei der Berechnung der Immissionskonzentration des nachfolgenden Berechnungsintervalls berücksichtigt. Schadstoffakkumulationen in alpinen Tal- und Beckenlagen bei länger andauernden Inversionsepisoden können am ehesten durch Wahl des „transient mode“ erfasst werden.

Eine gute Übereinstimmung der Jahresmittelwerte der SO₂-Konzentration an den 4 Messstellen des Validierungsfalls Gratkorn konnte nur im „transient mode“ erreicht werden, dgl. wurde beim 2. Validierungsfall für komplexes Gelände – Westvaco – GRAL im transienten Modus betrieben.

In der luftreinhaltechnischen Untersuchung der Müller-BBM Austria GmbH ist nicht angegeben, in welchem Modus GRAL eingesetzt wurde. Anzunehmen ist, dass im „steady-state“-Modus gerechnet wurde.

4.3.3. Berücksichtigung von Gebäuden

Nach TA Luft 2021, Anhang 2, Punkt 11, sind Gebäude bei der Ausbreitungsberechnung jedenfalls dann explizit zu berücksichtigen, wenn die Schornsteinbauhöhe weniger als das 1,7-fache der Gebäudehöhe(n) beträgt. Die vorgesehene Kaminhöhe beträgt 45 m über 0-Niveau, die Höhe des Kraftwerksgebäudes 32 m. Die Schornsteinbauhöhe beträgt damit weniger als das 1,7 fache der Höhe des Kraftwerksgebäudes. Das Kesselhaus und umliegende höhere Gebäude sind daher bei der Ausbreitungsrechnung zu berücksichtigen. Nach ÖNORM M 9440, Punkt 6.4 gilt in diesem Fall: *„Falls es notwendig ist, Gebäude in der Ausbreitungsrechnung zu berücksichtigen, sind die Gebäudehöhen anzugeben bzw. planlich darzustellen.“*

Es ist zwar in der luftreinhaltechnischen Untersuchung nicht explizit angegeben, ob Gebäude bei der Ausbreitungsrechnung (und wie hoch die Gebäude sind) berücksichtigt wurden, nach Abbildung 11 in der luftreinhaltechnischen Untersuchung (Lageplan der Emissionsquellen – Einreichplanfall) ist aber davon auszugehen.

4.3.4. Eigene Erfahrungen

In einem mir im Detail vertrauten Fall einer Ausbreitungsrechnung für eine hohe Punktquelle in komplexem Gelände mit umfangreicher Bebauung lieferte GRAL in der Version V22.09 höchst problematische

¹⁵ „GRAL“ ... ohne Berücksichtigung von Strömungshindernissen, „GRAL/level1“ ... mikroskalige diagnostische Modellierung, „GRAL/level2“ ... mikroskalige prognostische Modellierung.

¹⁶ „steady-state“ vs. transient, „adaptive roughness“

Ergebnisse (z.B. sehr unwahrscheinliche Lage von Immissionsmaxima). Soweit mir bekannt ist, führte der Versuch, diese Probleme zu lösen, zur Entwicklung der Modellversion V23.11 bzw. nach Korrektur einiger Fehler zur aktuellen Programmversion V24.04.

4.3.5. Schlussfolgerungen

Für komplexes Gelände und hohe Punktquellen liegen nur 2 Vergleiche (Validierungsfälle) zwischen den mit GRAL modellierten und den gemessenen Immissionskonzentrationen vor. GRAL in der Version V22.09 lieferte in beiden Fällen nur dann für die Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration zufriedenstellende Ergebnisse, wenn es im transienten Modus betrieben wurde. Trotz Anwendung des transienten Modus wurden Kurzzeitwerte (Tagesmittelwerte - TMW, Halbstundenmittelwerte - HMW) zum Teil erheblich unterschätzt.

Im gegenständlichen Fall ist davon auszugehen, dass GRAL im „steady-state“-Modus eingesetzt wurde, was zumindest in Teilen des Untersuchungsgebiets zu hohen Fehlern der Modellierungsergebnisse geführt haben kann.

5. Ermittlung der Halbstundenmittelwerte der Schadstoffkonzentration

GRAL wurde mit einer Dispersionszeit von $3.600 \text{ s} = 1 \text{ Stunde}$ betrieben (vgl. luftreinhaltetechnische Untersuchung, Seite 23, Tab. 23). Das Modell kann daher nur Stundenmittelwerte der Immissionskonzentration bzw. anlagebedingten Immissions-Zusatzbelastung liefern.

Zu ermitteln und zu beurteilen sind aber bei einer Reihe von Schadstoffen (HCl, HF, SO₂, NO₂, NH₃) die maximalen anlagebedingten Halbstundenmittelwerte der Immissions-Zusatzbelastung bzw. die sich unter Einbeziehung der Luftschadstoff-Vorbelastung ergebenden maximalen Halbstundenstundenmittelwerte der Gesamtbelastung.

In der luftreinhaltetechnischen Untersuchung ist nirgendwo angeführt, wie die in den Ergebnistabellen ausgewiesenen max. Halbstundenmittelwerte der Zusatzbelastung bei den einzelnen Schadstoffen berechnet wurden. Nur bei Stickstoffdioxid (NO₂) kann zur Ermittlung des HMW_{max} auf den z.B. in der RVS 04.02.12 beschriebenen „workaround“ aus dem 98-Perzentil der NO₂-Konzentration zurückgegriffen werden. Bei allen anderen Schadstoffen ist man auf die auf die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung angewiesen. Sollten die in den Ergebnistabellen der luftreinhaltetechnischen Untersuchung ausgewiesenen max. Halbstundenmittelwerte in Wahrheit max. Stundenmittelwerte sein, so würden damit die tatsächlich zu erwartenden max. HMW der Zusatzbelastung erheblich unterschätzt.

6. Ermittlung der nassen Deposition

In der luftreinhaltetechnischen Untersuchung werden für einige Metalle anlagebedingte Depositionsraten ausgewiesen, wobei aber nirgendwo angegeben ist, um welche Form der Deposition (trockene Deposition, nasse Deposition oder beide zusammen) es sich handelt.

Wenn als „Deposition“ (wie früher - vor Erlassung der TA Luft 2021 – durchaus üblich) nur die trockene Deposition berechnet wurde, dann sind die ausgewiesenen anlagebedingten Depositionsraten viel zu niedrig, da bei hohen Kaminen die nasse Deposition in Quellnähe einen ungleich höheren Beitrag zur Gesamtdeposition liefert als die trockene Deposition allein. Zumindest in Quellnähe einer Anlage wie der gegenständlichen sind die die Schadstoffeinträge insb. von Metallen und Dioxinen in den Boden und Ökosysteme von der nassen Deposition bestimmt. Die Berücksichtigung der nassen Deposition ist damit für die Ermittlung

und Beurteilung der Auswirkungen der gegenständlichen Anlage auf die Schutzgüter Boden, Landwirtschaft, Pflanzen und Ökosystemen von entscheidender Bedeutung.

Mit GRAL kann die nasse Deposition nur im „transient mode“ berechnet werden, von dem nicht anzunehmen ist, dass er im gegenständlichen Fall angewendet wurde.

7. Beweissicherungskonzept

In der 1. Ergänzung der luftreinhaltetechnischen Untersuchung vom 9.8.2023 wird zur Beweissicherung vorgeschlagen, an 4 Standorten für einen Messzeitraum von mindestens 3 Monaten vor und nach der Inbetriebnahme der Verbrennungsanlage folgende Schadstoffbelastungen auf Basis von Monatsmittelwerten zu erheben:

- . Gesamtstaubdeposition
- . Schwermetallanteile in der Gesamtstaubdeposition
- . Stickstoffdioxid (NO₂)
- . Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

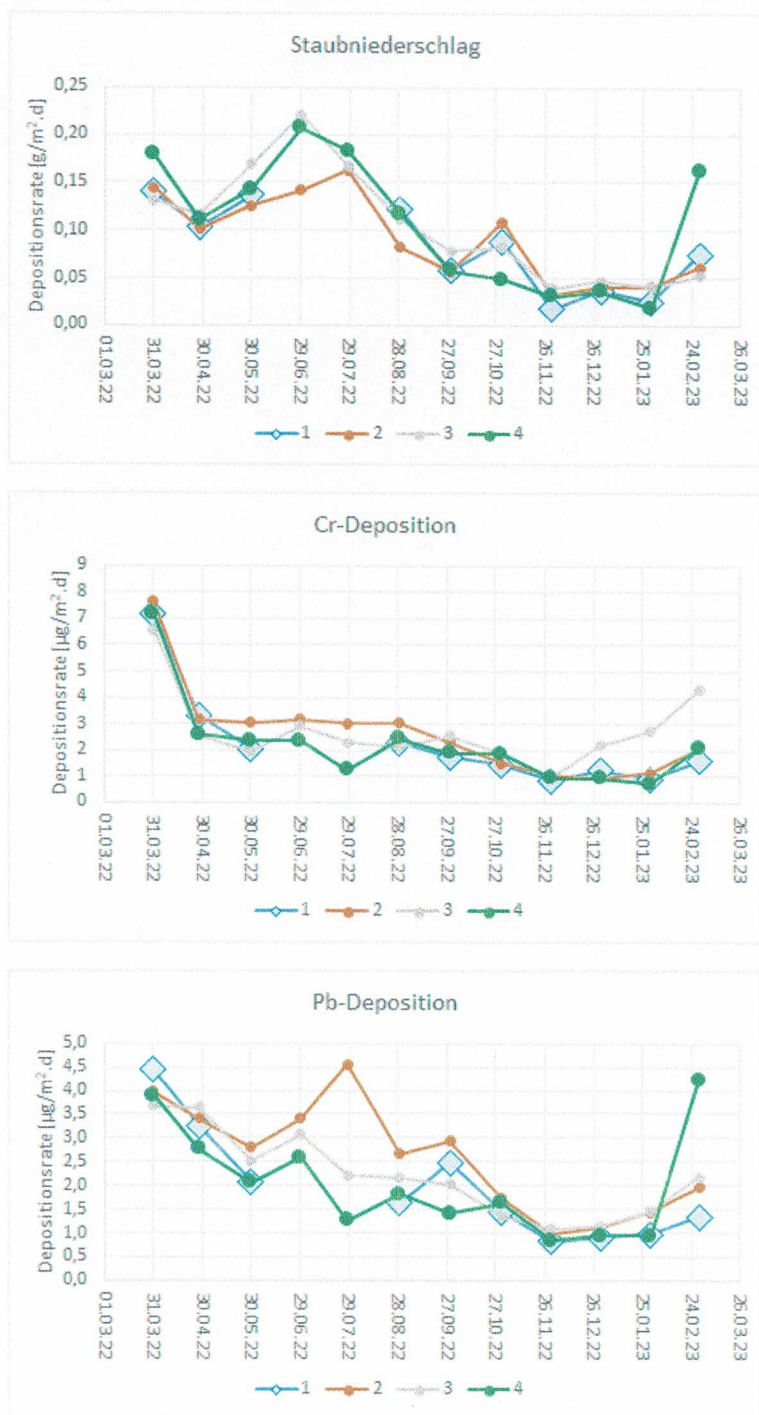
Dieses Beweissicherungskonzept ist aus fachlicher Sicht abzulehnen, weil es damit in keiner Weise möglich ist, anlagebedingte Veränderungen der Luftschadstoffbelastung erkennen zu können. Die Ursache liegt darin, dass – durchaus mit unterschiedlicher Standortcharakteristik – die Staub- und Schwermetalldepositionsraten in der Regel ausgeprägte jahreszeitliche Unterschiede aufweisen.

Der Staubdeposition ist z.B. häufig in den Sommermonaten viel höher als Herbst und Winter, während bei den Metallen immer wieder in den Wintermonaten höhere Depositionsraten zu beobachten sind (vgl. am Beispiel von Messergebnissen aus dem Umfeld eines OÖ. Industriestandortes in Abbildung 5). Ähnliches gilt für den gasförmigen Luftschadstoff Stickstoffdioxid, bei dem im Winter in der Regel wesentlich höhere Immissionskonzentrationen gemessen werden.

Ein kundiger, auf seine Interessen bedachter Anlagenbetreiber könnte daher die Vorbelastungsmessung in eine Periode mit hohen Depositionsraten legen, die Kontrolluntersuchung hingegen in eine für ihn günstige Periode mit zu erwartenden niedrigeren Immissionen.

Ein Beweissicherungsprogramm für Luftschadstoffe, die auf Ebene ihrer durchschnittlichen Konzentrationen im Zeitraum eines Jahres zu beurteilen sind (dies ist beim Staubbiederschlag, den Schwermetall-Depositionsraten und bei Stickstoffdioxid der Fall), muss daher sowohl bei der Vorbelastungserhebung als auch bei der Kontrolluntersuchung im Betrieb der Anlage den Zeitraum von mindestens einem Jahr umfassen.

Abbildung 5: Beispielhafte Ergebnisse von Depositionsmessungen an einem OÖ Industriestandort



8. Resümee

Plastisch ausgedrückt, folgt die luftreinhaltetechnische Untersuchung der Müller-BBM Austria GmbH vom 12.4.2023 dem Schema „diese und jene Emissionsdaten wurden in das Modell eingegeben und das ist herausgekommen“. Der Vorgang der Modellierung selbst, sowohl der großräumigen Windfeldmodellierung mit GRAMM als auch der Ausbreitungsrechnung mit GRAL, bleibt mit Ausnahme weniger trivialer Angaben völlig im Dunkeln und ist damit auch nicht nachvollziehbar. Die Mindestanforderungen an die Transparenz

und Nachvollziehbarkeit von Luftschadstoff-Immissionsprognosen nach den einschlägigen Normen und Regelwerken, z.B. der ÖNORM M 9440 (2019), sind nicht erfüllt. Im Sinne der ständigen Rechtsprechung des Verwaltungsgerichtshofs ist die luftreinhaltetechnische Untersuchung der Müller-BBM Austria GmbH damit mit einem grundlegenden Mangel behaftet.

Aus fachlicher Sicht ist festzuhalten, dass die Richtigkeit und Genauigkeit des ersten Schritts der Immissionsprognose - der großräumigen Windfeldmodellierung mit GRAMM - sehr stark davon abhängen, ob für den „match-to-observation“-Prozess ausreichend viele meteorologische Messdaten im Untersuchungsgebiet in guter Qualität verfügbar sind. Da die nächste meteorologische Messstation in Bludenz liegt, wurden für das „matchen“ der Windfelder im Raum Frastanz andere Modelldaten (Modell „INCA“ der GeoSphere Austria GmbH) verwendet, die u.a. aufgrund ihrer geringen räumlichen Auflösung zwangsläufig ungenau sind und lokale meteorologische Phänomene nicht abbilden können. Die durchgeführte Modellierung erscheint daher bereits aus diesem Grund höchst problematisch.

Für die Verbesserung der Windfeldberechnung mit GRAMM ist aus meiner Sicht unbedingt eine eigene meteorologische Messung im Bereich des Anlagenstandorts, die auch die für die Bestimmung der Ausbreitungsklassen erforderlichen Parameter umfassen muss, erforderlich.

Bei der Ausbreitungsrechnung mit GRAL für hohe Punktquellen im komplexen Gelände bestehen besondere Herausforderungen, da hier anders als für bodennahe Quellen auch das vertikale Windprofil eine wesentliche Rolle spielt.

Anders als für bodennahe Quellen liegen für hohe Punktquellen in komplexem Gelände nur 2 Vergleiche (Validierungsfälle) zwischen mit GRAL modellierten und gemessenen Immissionskonzentrationen vor. GRAL in der Version V22.09 lieferte in beiden Fällen nur dann für die Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration zufriedenstellende Ergebnisse, wenn das Modell im transienten Modus betrieben wurde. Trotz Anwendung des transienten Modus wurden bei diesen Validierungsfällen die Kurzzeitwerte (Tagesmittelwerte, Halbstundenmittelwerte) aber zum Teil erheblich unterschätzt.

In der luftreinhaltetechnischen Untersuchung der Müller-BBM Austria GmbH ist nicht angegeben, in welchem Modus GRAL eingesetzt wurde. Anzunehmen ist eine Berechnung im „steady-state“-Modus, was zumindest in Teilen des Untersuchungsgebiets zu hohen Fehlern der Modellierungsergebnisse geführt haben kann.

Schließlich ist noch als wesentlicher Mangel zu sehen, dass ein wesentlicher Teil der Einwirkungen des Vorhabens auf die Umwelt – die nasse Deposition von Luftschadstoffen – nicht ermittelt wurde und die Beurteilung auch deshalb unvollständig geblieben ist, weil die Immissionen bestimmter umweltrelevanter Luftschadstoffe überhaupt nicht beurteilt wurden.

Kirchdorf, am 31. Juli 2024

The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Johann Wimmer'. The signature is written over a circular professional stamp. The stamp has a dotted border and contains the text 'INGENIEURBÜRO' at the top and 'Dipl.-Ing. Dr. Johann Wimmer' at the bottom. In the center of the stamp is a stylized logo consisting of a triangle with a horizontal line through it.

Dipl.-Ing. Dr. Johann Wimmer

Literatur:

- [Lit.1] ÖNORM M 9440 (2019): Ausbreitung von luftverunreinigenden Stoffen in der Atmosphäre - Berechnung von Immissionskonzentrationen. Ausgabe vom 1.10.2019, Austrian Standards International, Wien
- [Lit.2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit / BRD (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). GMBL. 2021, Nr. 48–54, S. 1050–1192 (14.9.2021)
- [Lit.3] VDI 3783 Blatt 13 (2010): Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsprognose - Anlagenbezogener Immissionsschutz - Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft. Ausgabe vom Jänner 2010, VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL)
- [Lit.4] BMDW (2012): Qualitätssicherung in der Luftschadstoff-Ausbreitungsrechnung – 2012. Technische Grundlage. Hrsg. Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, Wien
- [Lit.5] LAI (2004): Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind - Orientierungswerte für die Sonderfallprüfung und für die Anlagenüberwachung sowie Zielwerte für die langfristige Luftreinhalteplanung unter besonderer Berücksichtigung der Beurteilung krebserzeugender Luftschadstoffe. Bericht vom 21.9.2004, Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), BRD
- [Lit.6] D. Öttl und M. Kuntner (2022): Documentation of the prognostic mesoscale model GRAMM (Graz Mesoscale Model) Version 22.09. Technische Universität Graz, Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme / Amt der Steiermärkischen Landesregierung
- [Lit.7] D. Öttl und M. Kuntner (2022): Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL (Graz Lagrangian Model) V22.09. Technische Universität Graz, Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme / Amt der Steiermärkischen Landesregierung
- [Lit.8] D. Öttl und M. Kuntner (2022): GRAL Manual - GRAL Graphical User Interface 22.09. Technische Universität Graz, Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme / Amt der Steiermärkischen Landesregierung
- [Lit.9] D. Öttl und M. Kuntner (2020): Recommendations when using the GRAL/GRAMM modelling system Version 20.03. Technische Universität Graz, Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme / Amt der Steiermärkischen Landesregierung
- [Lit.10] D. Öttl et al. (2017): Windfeldbibliothek Steiermark Bezugsjahr 2015. Bericht Nr. Lu-08-2017 vom Oktober 2017, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz
- [Lit.11] D. Öttl (2022): Windfeldbibliothek Steiermark Bezugsjahr 2017. Bericht Nr. ABT15-Lu-05-2022 vom Dezember 2022, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz
- [Lit.12] C. Kurz et al. (2019): GRAMM Windfeldbibliothek Land Kärnten Bezugsjahr 2017. Bericht Nr. FVT-025/19/Jo V&U 18/23/6300, erstellt im Auftrag des Amtes der Kärntner Landesregierung von der Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Graz (FVT) und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Klagenfurt (ZAMG)
- [Lit.13] VDI 3783 Blatt 7 (2017): Umweltmeteorologie - Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder. Ausgabe vom Mai 2017, VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL)

- [Lit.14] European Environment Agency (2011): The application of models under the European Union's Air Quality Directive: A technical reference guide. EEA Technical report No 10/2011, Hrsg. EEA, Kopenhagen; ISBN 978-92-9213-223-1
- [Lit.15] M. May et al. (2024): Evaluation of the GRAMM/GRAL model for high-resolution wind fields in Heidelberg, Germany. Atmospheric Research 300 (2024) 107207
- [Lit.16] FSV (2020): RVS 04.02.12 – Ausbreitung von Luftschadstoffen an Verkehrswegen und Tunnelportalen. Hrsg. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Ausgabe vom 1.10.2020